

107539290

1/5/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2005 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

JC17 Rec'd FCT/PTO 16 JUN 2005

04189328 **Image available**

OPTICAL RING RESONATOR

PUB. NO.: 05-181028 [JP 5181028 A]

PUBLISHED: July 23, 1993 (19930723)

INVENTOR(s): KOMINATO TOSHIMI

KAWACHI MASAO

JINGUJI KANAME

APPLICANT(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> [000422] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.: 04-000396 [JP 92396]

FILED: January 06, 1992 (19920106)

INTL CLASS: [5] G02B-006/12

JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment); 44.2 (COMMUNICATION -- Transmission Systems)

JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS); R012 (OPTICAL FIBERS); R096 (ELECTRONIC MATERIALS -- Glass Conductors)

JOURNAL: Section: P, Section No. 1637, Vol. 17, No. 600, Pg. 42, November 04, 1993 (19931104)

ABSTRACT

PURPOSE: To provide a variable finesse optical ring resonator by varying the ratio of optical coupling between an input/output optical path and a ring-shaped optical unit.

CONSTITUTION: A ring optical waveguide 2 which constitutes a closed loop is arranged in a clad layer 1a on a silicon substrate 1 and optically coupled with an input optical waveguide 3a and an output optical waveguide 3b. The optical coupling part of the ring-shaped optical waveguide 2, input optical waveguide 3a, and output optical waveguide 3b consists of a Mach-Zehnder interferometer circuits 11 and 21 and the optical coupling ratio is variable. Consequently, proper filter characteristics are obtained and light can be guided out.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-181028

(43)Date of publication of application : 23.07.1993

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 04-000396

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.01.1992

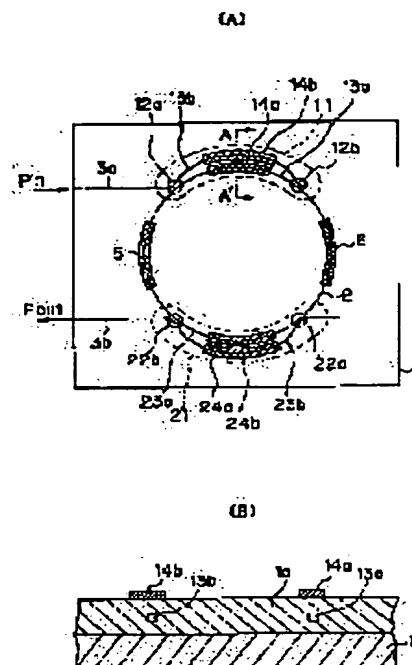
(72)Inventor : KOMINATO TOSHIMI
KAWACHI MASAO
JINGUJI KANAME

(54) OPTICAL RING RESONATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a variable finesse optical ring resonator by varying the ratio of optical coupling between an input/output optical path and a ring-shaped optical unit.

CONSTITUTION: A ring optical waveguide 2 which constitutes a closed loop is arranged in a clad layer 1a on a silicon substrate 1 and optically coupled with an input optical waveguide 3a and an output optical waveguide 3b. The optical coupling part of the ring-shaped optical waveguide 2, input optical waveguide 3a, and output optical waveguide 3b consists of a Mach-Zehnder interferometer circuits 11 and 21 and the optical coupling ratio is variable. Consequently, proper filter characteristics are obtained and light can be guided out.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-181028[✓]

(43)公開日 平成5年(1993)7月23日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 2 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F 7036-2K

審査請求 未請求 請求項の数3(全10頁)

(21)出願番号 特願平4-396

(22)出願日 平成4年(1992)1月6日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 小湊 俊海

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 河内 正夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 神宮寺 要

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

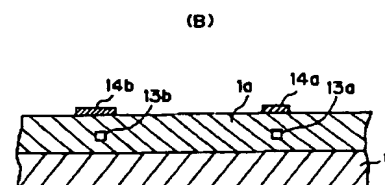
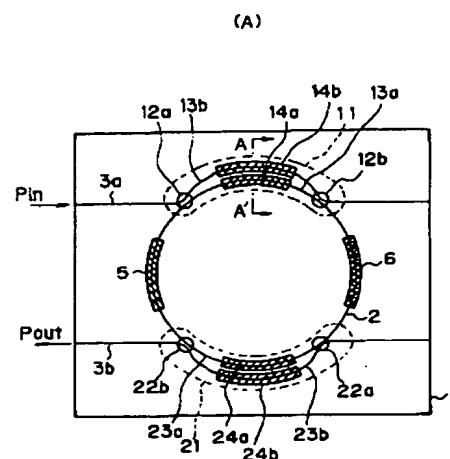
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 光リング共振器

(57)【要約】

【目的】 フィネス可変の光リング共振器を提供する。

【構成】 シリコン基板1上のクラッド層1a内に、閉ループを構成しているリング光導波路2が配置され、リング状光導波路2が入力光導波路3aおよび出力光導波路3bと光結合されている。リング状光導波路2と入力光導波路3a、出力光導波路3bとの光結合部がマッハツェンダ光干渉計回路11、21により構成され、光結合比が可変となっている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 リング状光路と、光結合部と、前記リング状光路に前記光結合部を介して結合された少なくとも1本の光入出力光路より構成され、前記光結合部の少なくとも1つが入出力光強度可変の光結合部である光リング共振器。

【請求項2】 前記の入出力強度可変の光結合部がマッハツェンダ光干渉計により構成され、前記マッハツェンダ光干渉計を構成する2つの光路途上に、その光路長を微調整して光の透過率を調節する位相器が設けられている請求項1記載の光リング共振器。

【請求項3】 前記リング状光路と前記光入出力光路は平面基板上に形成された単一モード光導波路であり、該単一モード光導波路は、前記平面基板上に配置された石英系ガラスによるコア部が埋設されて構成された石英系光単一モード光導波路であり、前記マッハツェンダ光干渉計は、リング状石英系光単一モード光導波路と入出力石英系光単一モード光導波路が2箇所にて近接して構成された2個の方向性結合器と該2個の方向性結合器を連結する2本の石英系光単一モード光導波路で構成され、前記位相器は、前記マッハツェンダ光干渉計の2個の方向性結合器を連結する2本の石英系光単一モード光導波路の少なくとも一方に前記コア部の上方のクラッド層上に配置された薄膜ヒータである請求項2記載の光リング共振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光通信分野における光周波数多重通信、光周波数計測等に用いられる光周波数フィルタあるいは光センサシステムのセンサの1つである光リング共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】 将来の大容量伝送方式の一つとして、石英系光ファイバにおける低損失波長である $1.55\mu\text{m}$ 帯において、数GHzの周波数間隔で数百から千チャネルの光信号を多重化して伝送する光周波数多重(FDM)伝送が考えられている。この伝送方式において、多重化された光信号の中から1つの信号を抜き出す光周波数フィルタが必要である。さらに、信号の搬送波となる数GHzの周波数間隔の光を同時に、かつ安定した周波数で発生することが必要であり、そのために絶対安定化光源システムと、周期的に透過あるいは阻止周波数をもつ光周波数フィルタを組み合わせたレーザ周波数の同時安定化システムが考えられている。また、石英系光ファイバあるいは光導波路を用いた光センサシステムでは、Sagnic効果を利用した光ジャイロのセンサ部として、屈折率の温度依存性を利用した光温度センサのセンサ部として光周波数フィルタを用いることが考えられている。この光周波数フィルタの1つとして、従来から、光リング共振器が知られている。この光リング共振器

は、リング状光路と、このリング状光路と光結合するように配置された光入出力光路とからなっており、光路の構成法により、1) バルク形、2) ファイバ形、3) 平面導波路形に分類される。

【0003】 バルク形は、レンズ、プリズム、ミラーやハーフミラー等で光路や光結合部を構成するものである。ファイバ形は、単一モードファイバを光路とし単一モードファイバカップラを結合部として構成されるものである。平面導波路形は、平面基板上に光路の形成材料を成膜する技術と、その膜を加工し光路化するフォトリソグラフィ工程の組み合わせにより作製される単一モード光導波路による光路やカップラ等で構成される。光周波数フィルタの作製および特性の観点から平面導波路形はバルク形やファイバ形に比較して小型性、量産性、安定性および制御性等で有望視されている。

【0004】 図8(A)から(D)は平面導波路形光リング共振器の従来例を示す構成図である。図8(A)は、その平面図であり、図8(B)、(C)および(D)はそれぞれ線分AA'、線分BB'および線分CC'に沿った拡大断面図である。この平面導波路形光リング共振器は、基板1上に配置された周長Lの閉ループを構成しているリング状光導波路2、入力光導波路3a、出力光導波路3bからなり、リング状光導波路2と、入出力光導波路3aおよび3bとは各一部分が互いに近接して、それぞれ方向性結合器4a、4bを構成している。リング状光導波路2上には、所定長にわたって、リング状光導波路2での光路長を微調整するための位相器5が設置されている。また、リング状光導波路2に偏波による屈折率の違いである複屈折性がある場合において、それによる特性への影響を補償するための偏波補償器6が設置されている。

【0005】 具体的には、図8(A)から(D)に示した光導波路2、3a、3bとしては、シリコン基板上に形成された石英系単一モード光導波路を用いることができる。位相器5としては、熱光学効果による屈折率変化を誘起させる薄膜ヒータを用いることができる。シリコン基板上に形成された石英系光導波路には圧縮応力が働いており、それにより垂直偏波(TM偏波)と水平偏波(TE偏波)とでは光導波路の実効屈折率が 10^{-4} のオーダーで異なる複屈折性がある。そのため、偏波補償器6が必要であり、リング状光導波路2にかかる応力を緩和させる方向に応力を付加し複屈折率を変化できるアモルファスシリコン薄膜を用いることができる。

【0006】 図9(A)、(B)上記の光リング共振器の光周波数特性を示す図である。すなわち、図8(A)から(D)に示した光リング共振器において、入力端3a-1に入力した信号光(光強度Pin)の光周波数を変化させたとき出力端3a-2および出力光導波路3bからのそれぞれの出力信号光の光強度Pout1およびPout2の変化を図9(A)および(B)にそれぞれ

3

示すものである。図9の光リング共振器の光周波数特性は、光リング共振器に固有の共振ピークにより特徴づけられる。すなわち、共振ピークの光周波数 f_r に一致した光信号は出力光導波路3bに出力され、出力端3a-2において阻止することができるので、図8(A)から(D)に示した光リング共振器は光周波数フィルタとしての作用を示す。この共振ピークは単一ではなく、いわゆるFSR(Free Spectral Range)と呼ばれる一定の共振周波数間隔で多数の共振ピークが現れる。FSR値は、リング状光導波路2の周長Lと次の関係にある。

$$【0007】FSR=c/n \cdot L \cdots (1)$$

(cは光速、nは光導波路の屈折率)

$$F=FSR/\Delta f \cdots (2)$$

(Δf は共振ピークの半値周波数幅)

$$=\pi/2 \sin^{-1}((1-R)^2/2/(1+R^2))^{1/2} \cdots (3)$$

$$R=(1-k_a) \cdot (1-k_b) \cdot \exp(-\Gamma/8.69) \cdots (4)$$

(Γ はリング一周当たりの光強度損失)

たとえば、光強度損失 $\Gamma=0.56\text{ dB/一周}$ の光導波路によってフィネス30を実現するためには、 $k_a=k_b=4\%$ に設定する。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、フィネスが可変にできないために、信号が光源周波数の安定度に比較してフィネスが大きな光リング共振器にて、多重された信号から所望の信号を高効率で取り出すことが困難であった。すなわち、信号の光源周波数が揺らぐことにより、図8(A)における出力光導波路3bでの出力光強度が急激に弱くなり、透過特性が劣化する。同時に、出力端3a-2での光強度が急激に強くなり、阻止特性が劣化することになる。また、システムに光リング共振器を組み込むときに、光リング共振器の共振ピーク f_r と信号の周波数とを一致させるための調整が必要である。位相器5を微調整することでリング状光路の光路長を調節することにより、光リング共振器の共振周波数 f_r を信号周波数に合わせることができる。しかし、構成しようとしているシステムにおいて、狭帯域のフィルタ特性を持つリングを用いる場合に、すなわち、フィネスの大きな光リング共振器を用いる場合に、この光リング共振器の共振周波数 f_r が信号の光周波数からわずかに離れただけで、出力端での光強度がほとんど変化しなくなり、位相器5による、共振周波数 f_r を信号周波数に合わせる調整が困難になるという問題があった。

【0012】本発明の目的は、上記の欠点を解決して、フィネス可変の光リング共振器を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の光リング共振器は、リング状光路と、光結合部と、前記リング状光路に前記光結合部を介して結合された少なくとも1本の光入出力光路より構成され、前

4

たとえば、石英系ガラス光導波路($n \approx 1.45$)によって $FSR=5\text{ GHz}$ を実現するためには、 $L=41.3\text{ mm}$ に設定する必要がある。

【0008】リング状光導波路2上に設けた位相器5によって、実効光路長 $n \cdot L$ に最大で1波長分程度の位相変化を与えることにより、共振周波数 f_r の位置をFSR幅の範囲内で変化させて、チューニングを行うことができる。

【0009】また、この共振ピークの鋭さは、フィネスFにより表せる。方向性結合器4aおよび4bの入出力光強度をそれぞれの光結合比 k_a 、 k_b で表すと、フィネスFは光結合比 k_a 、 k_b と次の関係にある。

【0010】

記光結合部の少なくとも1つが入出力光強度可変の光結合部である。

【0014】

【作用】本発明では、光リング結合器を、リング状光路と、光結合部と、リング状光路に光結合部を介して結合された少なくとも1本の光入出力光路より構成し、光結合部の少なくとも1つを入出力光強度可変の光結合部とすることにより、例えば、(3)(4)式の光結合比 K_a 、 K_b を可変にできる。したがって、本発明によれば、従来の技術とは異なり、フィネスを可変にできる利点がある。

【0015】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0016】図1(A)、(B)は本発明の第1の実施例の光リング共振器を示す、それぞれ平面図およびA-A'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。

【0017】この光リング共振器と図8(A)～(D)に示した従来例とは、シリコン基板1上のクラッド層1a内に、閉ループを構成しているリング状光導波路2が配置され、およびこのリング状光導波路2がそれぞれ入力光導波路3aおよび出力光導波路3bと光結合されている点では同じであるが、本実施例では、リング状光導波路2との光結合部を、破線11および21で囲って示されているマッハツェンダ光干渉計回路によって構成することによって光結合比可変となっている点が従来例と大きく異なる。

【0018】マッハツェンダ光干渉計回路11は方向性結合器12aおよび12bを長さが互いに ΔL だけ異なる2本の光導波路13aおよび13bにより連結することにより構成されている。なお、ここで光導波路13aはリング状光導波路2の一部を共用し、光導波路13b

5

は入力光導波路3aの一部を共用している。位相器14aおよび14bとして薄膜ヒータが光導波路13aおよび13bのコア部の上方のクラッド層1a上に配置されている。

【0019】マッハツェンダ光干渉計回路21は、マッハツェンダ光干渉計回路11と同様に、方向性結合器22aおよび22bを長さが互いに ΔL だけ異なる2本の光導波路23aおよび23bにより連結することにより構成されている。なお、ここで光導波路23aはリング状光導波路2の一部を共用し、光導波路23bは入出力光導波路3bの一部を共用している。位相器24aおよび24bとして薄膜ヒータが光導波路23aおよび23bのコア部の上方のクラッド層1a上に配置されている。

【0020】マッハツェンダ光干渉計回路11および21を構成している光導波路の一方（ここでは光導波路13aおよび23a）およびリング状光導波路2の中で光導波路13aと23aと共用していない部分の光導波路2の上方には、位相器として薄膜ヒータ5、偏波補償器としてアモルファスシリコン薄膜6がそれぞれ配置されている。

【0021】本実施例の単一モード光導波路は、SiCl₄、GeCl₄等のガラス形成原料ガスの火災加水分解反応を利用した石英系ガラス膜堆積技術と、反応性イオンエッチングによる石英系ガラス膜加工技術との公知の組み合わせによりシリコン基板1上に作製することができる。光導波路3a、3b、13a、13b、23a、23b、2等は、図1(B)に示されるように、厚さ50 μ m程度のクラッド層1a内に埋設されており、光導波路3a、3b、13a、13b、23a、23b、2等のコア部寸法は6 μ m \times 6 μ m程度、コア・クラッドの比屈折率差は0.75%程度である。

【0022】このような構造パラメータを有する石英系単一モード光導波路は、曲率4mm程度の曲げにも耐える。リング状光導波路2は、FSRを5GHzに設定するために(1)式より半径R=6.57mmの真円になるよう作製した。さらに、薄膜ヒータ14a、14b、24a、24bおよび5として、ここでは、Cr金属薄膜（幅50 μ m、厚さ0.3 μ m）を真空蒸着技術により、長さ約2mmにわたって形成した。さらに、アモルファスシリコン薄膜6（幅200 μ m、厚さ9 μ m）をスパッタ技術により、長さ約1mmにわたって形成し、垂直偏波（TM偏波）と水平偏波（TE偏波）で共振特性を一致させた。

【0023】方向性結合器12a、12b、23aおよび23bの各光結合比は50%になるように設計した。導波路長差 ΔL は1.08 μ mになるように作製した。これは、 $n \cdot \Delta L = m \cdot \lambda$ （mは整数、 λ は使用波長）とすることで、入力光導波路3aからリング状光導波路2に光結合比をほぼ100%にできる。ここでは、 $n =$

6

1.45、 $m=1$ および $\lambda=1.56\mu$ mから導波路長差 ΔL を設定した。方向性結合器12a、12b、23aおよび23bの光結合比および導波路長差 ΔL の値は、位相器14a、14b、24a、24bを働かさない状態で、入力光導波路3aからリング状光導波路2への光結合比、および光結合比の可変範囲より設計される。例えば、位相器14a、14b、24a、24bを働かさない状態で、入力光導波路3aからリング状光導波路2への光結合比を0%と設定し、変化させたい光結合比の範囲を0から50%とするとき、方向性結合器12a、12b、23aおよび23bの各光結合比を25%とし、導波路長差 ΔL の値は、0.504 μ mになるように設計される。この設計は、公知の導波型マッハツェンダ光干渉計の設計から容易に類推される。しかしながら、導波路長差 ΔL が大きくなると、従来例に比べてフィネスが悪くなったり、共振ピークがスプリットし始める。それゆえ、導波路長差 ΔL は0か、できるだけ小さいことが望ましい。図2(A)から(E)は、図1の光リング共振器の動作を説明する周波数特性図である。図2(A)から(D)は、位相器である薄膜ヒータ14aおよび24aの消費電力をそれぞれ0.3W、0.5W、0.7Wおよび0.9Wとしたものである。また、図2(E)は薄膜ヒータ14aおよび24bの消費電力を0.7Wとしたものである。図3は、薄膜ヒータ14aおよび24aに同じ電力を消費させた際のフィネスの変化を示すグラフである。

【0024】図4は、フィネスと共振ピークでの透過率の関係を示したものであるが、斜線の範囲が薄膜ヒータ14a、14b、24aおよび24bを変化させて得られた値である。

【0025】図5は本発明の第2の実施例の光リング共振器を示す平面図である。この光リング共振器は、第1の実施例のマッハツェンダ光干渉計回路21を方向性結合器4で置き換えた構成となっている。すなわち、出力光導波路3bは、方向性結合器4を介してリング状光導波路2と光結合している。

【0026】マッハツェンダ光干渉系回路11を構成している光導波路の一方（ここでは光導波路13a）およびリング状光導波路2の中で入力光導波路13aと共用していない部分の光導波路2の上方には、位相器として薄膜ヒータ5、偏波補償器としてアモルファスシリコン薄膜6がそれぞれ配置してある。

【0027】本実施例の単一モード光導波路は第1の実施例と同様に作製された。光導波路2、3a、3b、13a、13b等は、厚さ50 μ m程度のクラッド層1a内に埋設されており、光導波路13a、13b等のコア部寸法は6 μ m \times 6 μ m程度、コア・クラッドの比屈折率差は0.75%程度である。また、リング状光導波路2は、第1の実施例と同様にFSRを5GHzに設定するために半径R=6.57mmの真円になるよう作製し

10

20

30

40

50

7

た。さらに、薄膜ヒータ14a、14bおよび5として、ここでは、Cr金属薄膜（幅50 μ m、厚さ0.3 μ m）を真空蒸着技術により、長さ約2mmにわたって形成した。さらに、アモルファスシリコン薄膜6（幅200 μ m、厚さ9 μ m）をスパッタ技術により、長さ約1mmにわたって形成し、垂直偏波（TM偏波）と水平偏波（TE偏波）で共振特性を一致させた。

【0028】本実施例において、薄膜ヒータ14aおよび14bに電力を消費させないときのフィネスを20とするために、方向性結合器4のリング状光導波路2と出力光導波路3bとの光結合比は10%で作製し、マッハツェンダ光干渉計11の方向性結合器12aおよび12bの光結合比を50%に、2本の光導波路13a、および13bの長さの差 ΔL を0.43 μ mとした。

【0029】位相器である薄膜ヒータ14aの消費電力を0.9Wとしたときフィネスが28となり、消費電力を0Wとすると、フィネスが20となった。このような構成では、第1の実施例と同様に、位相器である薄膜ヒータ14aの動作時にフィネスを小さくでき、位相器を動作させないときには所望のフィネスが得られる。

【0030】図6は本発明の第3の実施例の光リング共振器を示す平面図である。本実施例が、第1の、第2の実施例と異なる点は、光結合部は光結合部11のみであることである。

【0031】マッハツェンダ光干渉計回路11は、方向性結合器12aおよび12bを長さが互いに ΔL だけ異なる2本の光導波路13aおよび13bにより連結することにより構成されている。なお、ここで光導波路13aはリング状光導波路2の一部を共用し、光導波路13bは入力光導波路3aの一部を共用している。位相器14aおよび14bとして薄膜ヒータが光導波路13aおよび13bのコア部の上方のクラッド層1a上に配置している。

【0032】マッハツェンダ光干渉計回路11を構成している光導波路の一方（ここでは光導波路13a）およびリング状光導波路2の中で光導波路13aを共用していない部分の光導波路2の上方には、位相器として薄膜ヒータ5、偏波補償器としてアモルファスシリコン薄膜6がそれぞれ配置してある。

【0033】本実施例の単一モード光導波路は、第1の実施例と同様に作製された。光導波路2、3a、13a、13b等は、厚さ60 μ m程度のクラッド層1a内に埋設されており、光導波路2、3a、13a、13b等のコア部寸法は8 μ m \times 8 μ m程度、コア・クラッドの比屈折率差は0.3%程度である。

【0034】このような構造パラメータを有する石英系単一モード光導波路は、曲率35mm程度の曲げにも耐える。リング状光導波路2は、FSRを0.5GHzに設定するために曲率半径Rが50mmの半円を長さ49mmの直線で接続したレーストラック型に作製した。さ

8

らに、薄膜ヒータ14a、14bおよび5として、ここでは、Cr金属薄膜（幅50 μ m、厚さ0.3 μ m）を真空蒸着技術により、長さ約5mmにわたって形成した。さらに、アモルファスシリコン薄膜6（幅200 μ m、厚さ9 μ m）をスパッタ技術により、長さ約1.6mmにわたって形成し、垂直偏波（TM偏波）と水平偏波（TE偏波）で共振特性を一致させた。方向性結合器12a、12bの各結合比は、20%になるように設計した。導波路長さ ΔL は0になるように作製した。入力光導波路3aからリング状光導波路2への光結合比をほぼ40%にできる。この結合部の光結合比は0から40%まで可変であり、本回路のフィネスは5から9まで可変であった。

【0035】図7は本発明の第4の実施例の光リング共振器を示す平面図である。本実施例が第3の実施例と異なる点は、光結合部11と入出力光導波路7aと7bの構成であり、一本の曲線導波路から構成されている。

【0036】マッハツェンダ光干渉計回路11は、方向性結合器12aおよび12bを長さが互いに ΔL だけ異なる2本の光導波路13aおよび13bにより連結することにより構成されている。入力光導波路7aは光導波路13aに連結されており、出力光導波路7bは光導波路13bに連結され、リング状光導波路2と交差している。位相器14aおよび14bとして薄膜ヒータが光導波路13aおよび13bのコア部の上方のクラッド層1a上に配置している。

【0037】この構成の光結合部11を方向性結合器に置き換えた構成は、光導波路をEr添加石英系光導波路を用いたリングレーザとして用いられている（特願平3-281579号）。この方向性結合器12a、12bの光結合比を励起光の周波数、およびリング内での発振周波数で数%以下にすることでレーザ発振させることができる。この場合、光結合比に対して発振条件がクリティカルであり、作製誤差により光結合比を高精度に設定することは難しい。しかしながら、この部分を本実施例の光結合部で構成することにより、この光結合比を適正值に設定することができる。

【0038】マッハツェンダ光干渉計回路11を構成している光導波路の一方（ここでは光導波路13a）およびリング状光導波路2の中で光導波路13aと共用していない部分の光導波路2の上方には、位相器として薄膜ヒータ5、偏波補償器としてアモルファスシリコン薄膜6がそれぞれ配置してある。

【0039】本実施例の単一モード光導波路は、火炎堆積法と反応性イオンエッチング法により作製されたEr（1重量%）添加石英系光導波路を用いた。光導波路2、7a、7b、13a、13b等は、厚さ60 μ m程度のクラッド層1a内に埋設されており、光導波路2、7a、7b、13a、13b等のコア部寸法は5 μ m \times 5 μ m程度、コア・クラッドの比屈折率差は0.75%

程度である。

【0040】このような構造パラメータを有する石英系単一モード光導波路は、曲率4mm程度の曲げにも耐える。リング状光導波路2は、FSRを2GHzに設定するために曲率半径Rが15.9mm程度の真円で作製した。さらに、薄膜ヒータ14a、14bおよび5として、ここでは、Cr金属薄膜（幅50μm、厚さ0.3μm）を真空蒸着技術により、長さ約5mmにわたって形成した。さらに、アモルファスシリコン薄膜6（幅200μm、厚さ9μm）をスパッタ技術により、長さ約1.6mmにわたって形成し、垂直偏波（TM偏波）と水平偏波（TE偏波）で共振特性を一致させた。方向性結合器12a、12bの各結合比は、励起波長0.98μmで0%、発振波長1.60μmで50%になるように作製した。導波路長差ΔLは0になるように作製した。これにより、入力光導波路3aからリング状光導波路2への光結合比が励起波長0.98μmで0%、発振波長1.60μmで100%になった。位相器である薄膜ヒータ14aの消費電力を0.1Wにすることで、発振しきい値が30mW、微分効率が20%で発振した。以上、第1、第2、第3および第4の実施例では、シリコン基板上の石英系単一モード光導波路を基本要素として構成したが、これは、石英系単一モード光導波路が、光通信用の石英系単一モード光ファイバとの屈折率整合性に優れているからである。本発明で用いることのできる光導波路は、必ずしも石英系光導波路に限定されるものではなく、他材料系の導波路系にも適用できることはもちろんである。対象となる光導波路系としては、石英系の他に、多成分ガラス系イオン拡散導波路、LiNbO₃系導波路などを挙げることができる。また、本発明は光ファイバあるいはバルク型などでも実現でき、光導波路に限定されるものではない。

【0041】さらに、位相器として薄膜ヒータを用いたが、電圧を印加して位相を制御できる液晶セルなどの位相制御器も用いることができ、本発明で用いることのできる位相器は必ずしも薄膜ヒータに限定されるものではない。先のLiNbO₃系導波路の場合には、位相器として、電気光学効果を利用した位相器を用いることも可能である。

【0042】さらに、本実施例では、光結合部にマッハツェンダ光干渉計回路を用いたが、方向性結合器の2本の光導波路間に溝を彫り、その溝に屈折率整合用液体を入れ、その屈折率を適当に調節することにより光結合比を可変にすることもでき、本発明で用いることのできる光結合部は必ずしもマッハツェンダ光干渉計回路に限定されるものではない。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、下記のような効果がある。

(1) 請求項1の発明は、光リング共振器の入出力光路

とリング状光路との光結合比を可変にすることにより、光リング共振器のフィネスを可変にでき、これにより、所望の光周波数が揺らいでいる場合でも、適切なフィルタ特性にして、それを取り出すことができる。したがって、本発明の光リング共振器は、光周波数多重伝送システム、光周波数計測分野や光センサシステム等広い応用を見出すことが期待される。

(2) 請求項2の発明は、光結合部をマッハツェンダ光干渉計と位相器の組み合わせで構成することにより、光結合比、したがってフィネスを高精度に、かつ広範囲に設定できる。よって本発明の光リング共振器は、使用されるシステムに適した光リング共振器の特性を実現でき、そのシステムの高性能化が期待される。

(3) 請求項3の発明は、光ファイバ、特に石英系光ファイバを用いたシステムの高性能化が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】同図(A)、(B)は本発明の第1の実施例の光リング共振器を示す、それぞれ平面図、AA'線断面図である。

【図2】第1の実施例の光リング共振器の位相器の消費電力を変えた時の光周波数特性を示す図である。

【図3】第1の実施例の光リング共振器の位相器の消費電力に対するフィネスの変化を示す図である。

【図4】第1の実施例の光リング共振器で設定可能なフィネスと共振ピークでの透過率の関係を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施例の光リング共振器の平面図である。

【図6】本発明の第3の実施例の光リング共振器の平面図である。

【図7】本発明の第4の実施例の光リング共振器の平面図である。

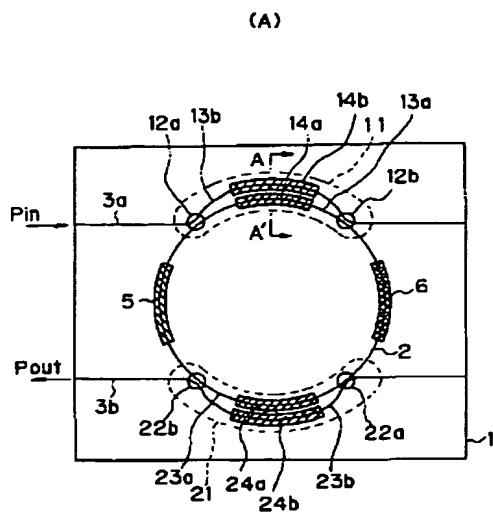
【図8】同図(A)、(B)、(C)および(D)は光リング共振器の従来例を示す、それぞれ平面図、AA'線断面図、BB'線断面図およびCC'線断面図である。

【図9】同図(A)、(B)は光リング共振器の従来例の光周波数特性を示す図である。

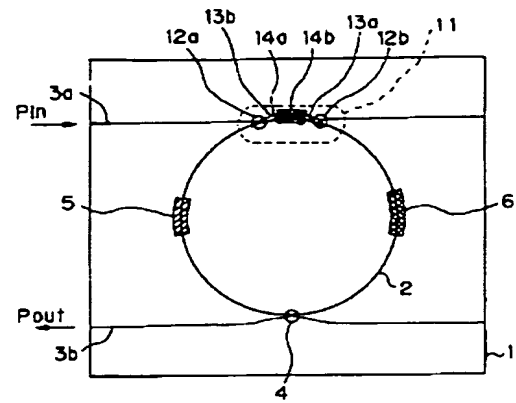
【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 1a クラッド層
- 2 リング状光導波路
- 3a 入力光導波路
- 3b 出力光導波路
- 4a, 4b 方向性結合器
- 5 薄膜ヒータ
- 6 偏波補償器
- 11, 21 マッハツェンダ光干渉計回路
- 12a, 12b, 22a, 22b 方向性結合器
- 13a, 13b, 23a, 23b 光導波路
- 14a, 14b, 24a, 24b 位相器

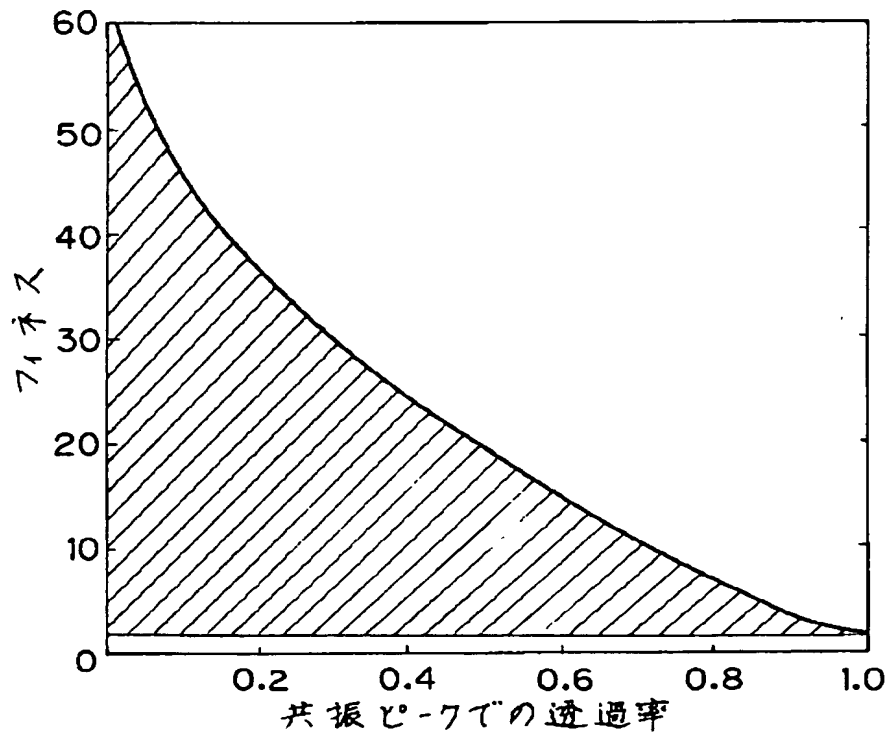
【図1】



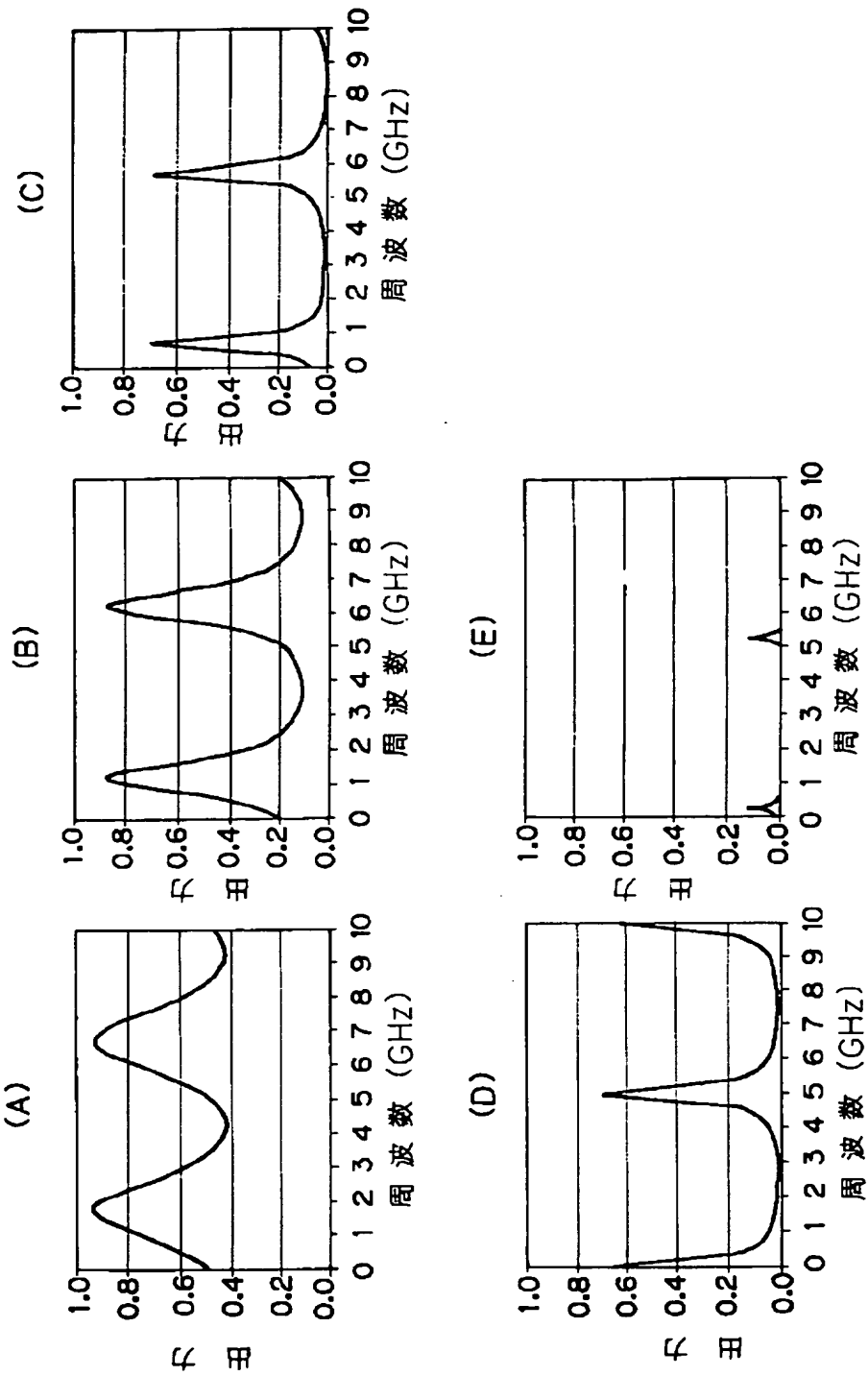
【図5】



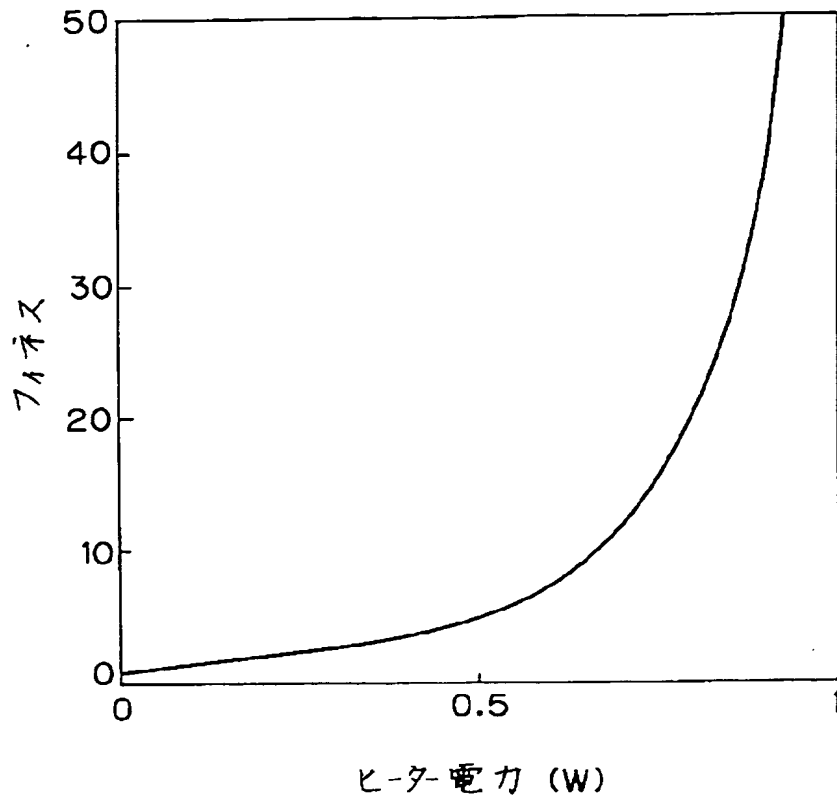
【図4】



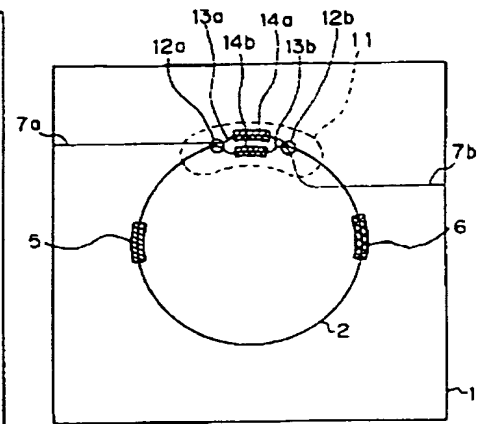
【図 2】



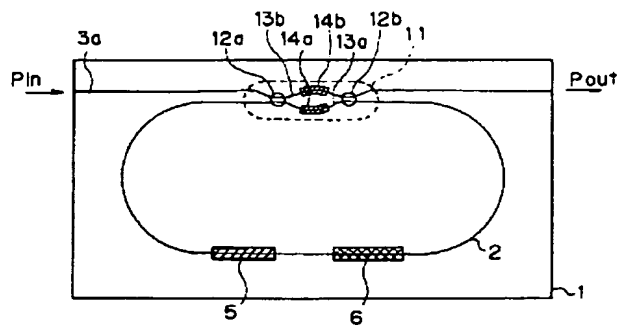
【図3】



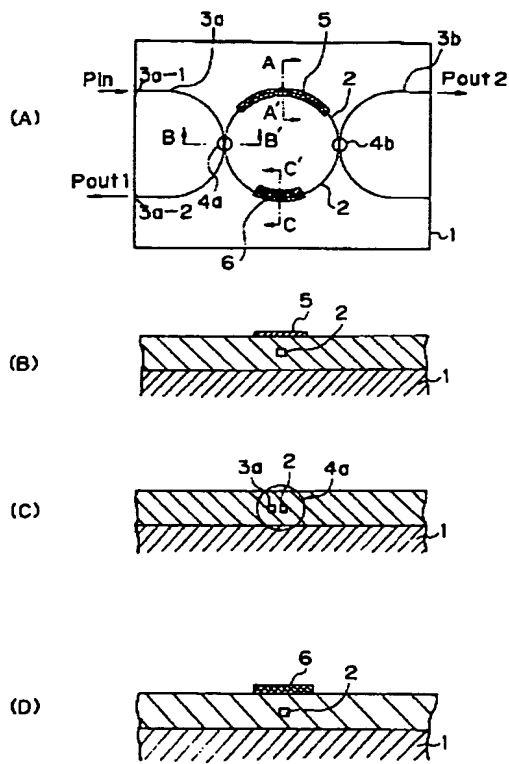
【図7】



【図6】



【図8】



【図9】

